



35^o
Bonito - MS

ANAIS do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia
19 - 22 de julho de 2019 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

PACHECO, G.S.M. et al. Composição de espécies e conservação de cavernas: atributos norteadores para as tomadas de decisão. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.784-789. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_784-789.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS: ATRIBUTOS NORTEADORES PARA AS TOMADAS DE DECISÃO

*SPECIES COMPOSITION AND CAVE CONSERVATION: GUIDING ATTRIBUTES FOR DECISION
MAKING*

Gabrielle Soares Muniz PACHECO (1,2); Lucas Mendes RABELO (1,2); Marconi SOUZA SILVA (1,2); Rodrigo Lopes FERREIRA (1,2)

- (1) Universidade Federal de Lavras.
- (2) Centro de Estudos em Biologia Subterrânea.

Contatos: gabrielle.pacheco@hotmail.com.

Resumo

Comunidades cavernícolas neotropicais são normalmente pouco similares entre si, por mais que seus habitats apresentem características estáveis de temperatura e umidade, já que são formadas principalmente por espécies não troglóbias advindas de um “estoque” epígeo extremamente diversificado. Para entender os padrões que regem estas comunidades, é necessário investigar os fatores que podem influenciar a estruturação das mesmas. Sendo assim, este estudo teve o objetivo de acessar quais variáveis (desenvolvimento linear, soma das áreas das entradas, número de entradas, presença e tipo de corpos d’água e distância geográfica entre as cavernas) melhor explicam a composição das comunidades associadas às cavernas inventariadas. Para isto, foram utilizados dados de 48 cavernas inventariadas no eixo Centro-norte de Minas Gerais (Brasil) que se insere em região de domínio do bioma Cerrado, um hotspot mundial de biodiversidade. Ao todo foram encontradas 1016 espécies de invertebrados, das quais 72 foram consideradas troglóbias. Os resultados desse estudo mostram que a presença de água, recurso importante para os invertebrados cavernícolas, apresenta-se como um fator influenciador da composição de espécies nas cavernas, em especial os sistemas lóticos allogênicos. Esses sistemas importam recursos e espécies para dentro das cavidades, inclusive demonstrando selecionar espécies similares quando comparamos a composição das diferentes comunidades das cavernas com cursos d’água allogênicos (e.g. espécies que provavelmente conseguem resistir à grandes oscilações do nível da água). Entender os atributos que influenciam a similaridade da fauna das cavernas tem se mostrado importante, principalmente no caso de supressão de cavidades, onde muitas vezes não se alcança uma equivalência entre a caverna a ser suprimida e a caverna a ser preservada. Desta forma, esses atributos podem ser decisivos na seleção das cavernas a serem conservadas no âmbito da compensação ambiental.

Palavras chave: Bioespeleologia; conservação; similaridade; Minas Gerais.

Abstract

Neotropical cave communities are usually dissimilar, even though their habitats have stable temperature and humidity characteristics, since they are formed mainly by non-troglobitic species from an extremely diversified epigeal "stock", considering the regional external megadiversity. To understand the patterns that drive these communities, it is necessary to investigate the factors that can influence their structuring. Thus, this study aimed to determine which variables (linear development, sum of entrance areas, number of entrances, presence and type of water bodies and geographic distance between caves) better explain the composition of communities associated with the inventoried caves. For this purpose, we used data from 48 caves inventoried in the central-north axis of Minas Gerais (Brazil), which is part of the Cerrado biome domain, a global biodiversity hotspot. A total of 1016 species of invertebrates were found, 72 of which were considered troglobitic. The results of this study show that the presence of water, an important resource for cave invertebrates, is a factor that influences the species composition in caves, especially in caves with allogenic lotic systems. These systems import resources and species into the cavities, even selecting similar species when comparing the species composition of the different communities from caves with allogenic watercourses (e.g. species that are likely to withstand large water level fluctuations). Understanding the attributes that influence the similarity of the cave fauna has been shown to be important, especially in the case of cave suppression, where an equivalence between the cave to be suppressed and the cave to be preserved is often not achieved. In this way, these attributes can be decisive in the selection of caves to be conserved in the scope of environmental compensation.

Keywords: Biospeleology; conservation; similarity; Minas Gerais.

1. INTRODUÇÃO

Estudos recentes demonstram que diversos fatores são importantes para a estruturação das comunidades cavernícolas em regiões tropicais. As regiões de entradas das cavernas, por exemplo, representam áreas de transição entre o ambiente epígeo e o hipógeo (PROUS et al., 2004). Nestas regiões, a luminosidade menos intensa combinada à proteção contra intempéries (e.g.: chuva e vento) favorece o desenvolvimento de algumas espécies vegetais e permite que espécies epígeas sejam encontradas junto a espécies hipógeas, além da ocorrência de espécies típicas dessas regiões ecotonais (PROUS et al., 2004, 2015). Além das entradas, a presença de corpos d'água e o próprio desenvolvimento linear das cavernas também são importantes para a estruturação das comunidades cavernícolas (SIMÕES et al., 2015). A água, dentre outras funções, destaca-se por ser um dos principais agentes de importação de recursos orgânicos alóctones para o interior das cavernas (SOUZA-SILVA et al., 2011a). De forma geral, quanto maior a diversidade, quantidade e qualidade dos recursos orgânicos, maior o número de espécies associadas a uma dada caverna (FERREIRA et al., 2000; SCHNEIDER et al., 2011). Além disso, cavernas maiores possuem maior potencial para ocorrência de heterogeneidade de micro-habitats, o que tende a aumentar a riqueza das comunidades (CULVER et al., 2003; SIMÕES et al., 2015).

Poucos são os estudos que demonstraram os fatores estruturantes das comunidades cavernícolas neotropicais, o que gera dificuldade aos tomadores de decisão, principalmente em questões emergenciais de conservação. Sendo assim, este estudo teve o objetivo de acessar quais das variáveis (desenvolvimento linear, soma das áreas das entradas, número de entradas, presença e tipo de corpos d'água, e distância geográfica entre as entradas) melhor explicam a composição das comunidades associadas às cavernas inventariadas.

2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado na região compreendida no eixo Centro-norte do estado de Minas Gerais, no ramo leste do grupo Bambuí no Estado. As amostragens ocorreram entre 2014 e 2015. Foram amostradas 48 cavernas em 17 municípios (Figura 1).

Todas as cavernas inventariadas são inseridas no bioma Cerrado, bioma esse que compreende a savana de flora mais rica do mundo, sendo considerado um *hotspot* mundial de

biodiversidade. A precipitação média anual deste bioma se aproxima dos 1500mm e as temperaturas médias oscilam entre 22 e 27°C ao longo do ano. O grupo geológico Bambuí é o maior grupo carbonático da América do sul (AULER, 2004) e nele se encontram todas as cavernas amostradas no projeto.

O desenvolvimento linear das cavernas foi obtido a partir de mapas topográficos ou durante as visitas a campo. A área da entrada foi conseguida pela multiplicação entre os maiores valores de altura e largura.

Os corpos de água nas cavernas foram categorizados em: *poças* (presença de depressões no substrato com acúmulo perene de água), *curtos d'água autogênicos* (quando os rios se originavam no interior da caverna) e *curtos d'água alogênicos* (rios epígeos que adentravam a caverna). As cavernas foram consideradas secas quando corpos d'água eram ausentes e/ou haviam apenas gotejamentos pontuais em espeleotemas

As distâncias geográficas entre as cavernas foram consideradas a partir de suas entradas, baseando-se nas coordenadas geográficas de cada caverna. As coordenadas geográficas foram registradas na entrada principal de cada cavidade utilizando GPS (GARMIN® 60CSX). O datum correspondente às coordenadas da Tabela 1 é WGS84. Para a análise de DistLM as coordenadas foram convertidas em UTM.

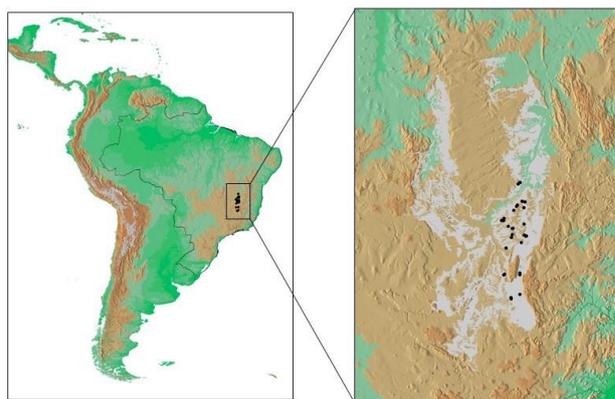


Figura 1: Cavernas amostradas na região Centro-norte de Minas Gerais, enfatizando a área de ocorrência do grupo geológico Bambuí (roxo).

Os invertebrados foram coletados através de busca visual e coleta manual ativa em toda a extensão acessível das cavernas. A coleta manual foi realizada com o auxílio de pinças, pincéis, sugadores e redes de mão. A equipe de coleta foi composta por quatro biólogos experientes em amostragem de fauna subterrânea. Os indivíduos coletados foram armazenados em potes plásticos

contendo álcool 70% e levados para o laboratório do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea (CEBS) para triagem e identificação.

Todos os indivíduos coletados foram triados, comparados e identificados até o menor nível taxonômico acessível, com auxílio de estereomicroscópio óptico e chaves de identificação. Após a separação de todos os indivíduos em morfótipos, os táxons: Acari, Amblypygi, Amphipoda, Araneae, Collembola, Diplopoda, Opiliones e Palpigradi, foram enviados para especialistas, a fim de se obter um maior refinamento taxonômico.

Para a determinação das características consideradas troglomórficas, foram utilizados critérios mencionados em literatura. Alguns troglomorfismos frequentemente observados em muitos grupos compreendem a redução ou ausência de olhos, alongamento de apêndices locomotores e sensoriais, redução e/ou perda da pigmentação, aumento do tamanho corporal e aumento do número de tricobótrias (CHRISTIANSEN, 1962; BARR, 1968; TRAJANO; BICHUETTE, 2010; NOVAK et al., 2012). No entanto, existem troglomorfismos específicos, como alongamento de flagelômeros e aumento no número de lâminas em órgãos laterais, em Palpigradi. Todas as espécies que apresentaram troglomorfismos específicos foram consideradas troglóbias (SKET, 2008).

Para a realização das análises, os táxons de hábito aquático foram excluídos das análises, uma vez que a presença deles poderia significar uma maior tendência à dissimilaridade da fauna entre as cavernas com e sem a presença de água.

Para avaliar quais das variáveis melhor explicam a composição das comunidades associadas às cavernas inventariadas, utilizou-se o teste DistLM (ANDERSON, 2004) baseado na matriz de similaridade de Jaccard (MAGURRAN, 2004). As variáveis utilizadas neste teste foram: desenvolvimento linear amostrado, soma da área das entradas e distância geográfica entre as entradas.

Para visualizar o agrupamento das cavernas de acordo com a similaridade (Jaccard) frente aos atributos hidrológicos, foram gerados gráficos de nMDS (KRUSKAL, 1964). Os atributos hidrológicos utilizados foram: “presença de cursos d’água”, formado por dois grupos, um contendo as cavernas secas ou com poça e outro contendo as cavernas com cursos d’água (lóticos - autogênicos ou alogênicos). Para testar se os grupos gerados na análise de nMDS foram significativamente distintos,

realizou-se o teste ANOSIM one-way (CLARKE, 1993).

3. RESULTADOS

Foram registradas 1016 espécies pertencentes ao filo Arthropoda, sendo distribuídos em 10 classes, 43 ordens e pelo menos 249 famílias. Dos 43 grandes táxons encontrados, os que apresentaram maior riqueza de espécies foram os ordens Diptera (178 espécies), Coleoptera (174 espécies) e Araneae (112 espécies). A riqueza total média foi de 53,45 espécies por caverna ($dp \pm 24,96$). Foram registradas espécies troglóbias em 41 cavernas. A caverna que apresentou maior riqueza de espécies foi a Lapa Sem Fim (158 spp), em seguida a Gruta do Engenho Velho (121 spp) e a Lapa do Saco Comprido (118 spp).

Ao todo, 72 espécies apresentaram evidentes troglomorfismos e foram consideradas troglóbias, o que representa 28,9% das espécies encontradas. A riqueza média de troglóbias foi de 2,81 espécies por caverna ($dp \pm 2,63$). Todas as espécies troglóbias pertencem ao filo Arthropoda e se distribuíram por treze ordens e ao menos 30 famílias. Os grupos com a maior quantidade de espécies troglóbias foram Isopoda (14 espécies), Araneae (13 espécies) e Polydesmida (11 espécies).

A Gruta do Nestor que se localiza no município de Itacarambi e a Lapa d’água de Montes Claros, foram as cavernas com maior número de espécies troglóbias (10 spp cada). As cavernas Boqueirão da Nascente (Montes Claros) e Lapa d’água do Zezé (Itacarambi) ocuparam a segunda posição quanto à riqueza de troglóbias, com sete espécies cada uma. As cavernas com corpos d’água apresentaram uma riqueza maior (riq. média=62,23; $dp \pm 17,89$) do que as cavernas secas (riq. média=48,64; $dp \pm 27,17$).

O valor médio obtido para a similaridade par a par entre as cavernas do presente estudo foi baixo, (8,92%; $dp \pm 34,16$) sendo que maior valor de similaridade (28%) foi observado entre as grutas do Espigão e do Espigão II, duas cavernas associadas a um mesmo maciço calcário com entradas distantes 149m uma da outra. As variáveis que melhor explicaram o modelo do DistLM ($R^2_{adj}=2,1929E-2$) com base na similaridade são: distância geográfica ($Prop=5,3765E-2$; Pseudo-F=1,2784; $p < 0,05$; $R^2_{adj}=1,171E-2$), soma da área das entradas ($Prop=2,7637E-2$; Pseudo-F=1,338; $p < 0,05$; $R^2_{adj}=1,877E-2$) e desenvolvimento linear ($Prop=2,3768E-2$; Pseudo-F=1,1421; $p=0,1$; $R^2_{adj}=2,1929E-2$).

Os modelos gráficos de nMDS gerados com base na matriz de similaridade de Jaccard, permitiram observar o agrupamento das cavernas em função de atributos hidrológicos e pela presença ou ausência de cursos d'água (Figura 2). O teste ANOSIM one-way, detectou diferenças significativas entre o grupo formado pelas cavernas classificadas como secas (nessa categoria entraram as cavernas consideradas secas e também as que possuíam apenas poças d'água) com relação ao grupo das cavernas com cursos d'água (nessa categoria entraram as cavernas que possuíam cursos d'água autogênicos ou alogênicos) ($R=0,114$; $p < 0,02$).

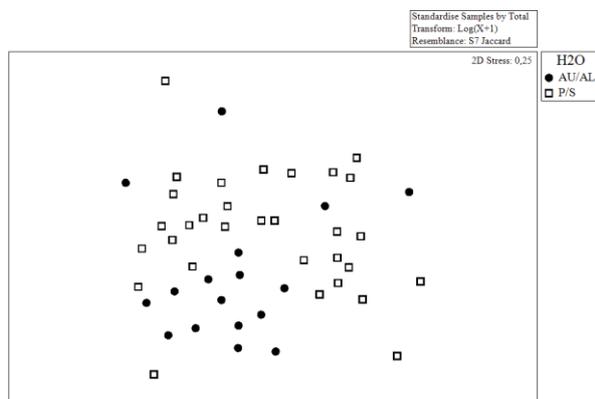


Figura 2: Gráfico de nMDS (2D stress = 0,25) demonstrando a distribuição da similaridade (Jaccard) para as cavernas, de acordo com a presença de cursos d'água (AU/AL=curso d'água autogênico/curso d'água alogênico; S/P=seca/poça)

4. DISCUSSÃO

A similaridade da fauna subterrânea em regiões neotropicais, mesmo entre cavernas próximas, é frequentemente baixa (SOUZA-SILVA et al., 2011c). Ainda assim, é a principal ferramenta utilizada na tentativa de compreender os padrões e as tendências das comunidades cavernícolas neotropicais em relação à variação do ambiente (SOUZA-SILVA, 2008; ZAMPAULO, 2010; SOUZA-SILVA et al., 2011b; 2011c, SOUZA, 2012; SIMÕES, 2013; SIMÕES et al., 2014). O baixo número de espécies compartilhadas entre cavernas próximas, é provavelmente reflexo da alta diversidade das comunidades epígeas adjacentes, associada à heterogeneidade de habitats e recursos.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, M. J. 2004. DISTLM v.5: a fortran computer program to calculate a distance-based multivariate analysis for a linear model. **Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand** 10:2016.

A distância geográfica foi o fator que melhor explicou os valores de similaridade entre as cavernas estudadas. Simões et al. (2015), ao analisarem a influência da distância geográfica sobre a similaridade das cavernas do noroeste de Minas Gerais, não obtiveram relação significativa. Porém, diversos estudos em sistemas epígeos demonstram a existência de uma relação direta entre a similaridade com a distância dos pontos amostrados (NEKOLA; WHITE, 1999), de modo que os sistemas hipógeos, que compartilham boa parte de suas espécies com os sistemas epígeos, também podem responder de forma similar.

Apesar da distância geográfica ser o fator que melhor explica o modelo gerado, para algumas cavernas outros fatores se mostraram relevantes. Diversos fatores podem contribuir para o aumento da similaridade entre cavernas com curso d'água, dentre eles estão a seleção de espécies adaptadas à oscilação sazonal do nível da água (SIMÕES et al., 2015) e a ocorrência de espécies com preferência por habitats mais úmidos ou secos.

Entender os fatores relevantes para a estruturação das comunidades cavernícolas é fundamental para se ter medidas adequadas para a conservação desses habitats. Hoje em dia, com a atual legislação brasileira, principalmente no que tange os critérios de compensação ambiental no caso de supressão de cavidades, esses atributos sabidamente relevantes poderiam entrar nos critérios de desempate para a seleção das cavernas a serem conservadas. Uma vez que muitas vezes não se alcança uma equivalência entre a caverna a ser suprimida e a caverna a ser preservada e/ou se opta por compensações financeiras. É importante salientar ainda que os estudos empíricos são indispensáveis para uma tomada de decisão assertiva.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e à VALE S. A. pelas bolsas de estudo. Agradecemos também à Fundação de Apoio à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), processo nº APQ 01281-13, pelo financiamento do projeto.

- AULER, A. 2004. America, South. Páginas 110 – 118 *em* J. Gunn, editor. **Encyclopedia of Caves and Karst Science**. Taylor & Francis e-Library, New York/London.
- BARR, T. C. 1968. Cave Ecology and the Evolution of Troglóbites. Páginas 35–102 *em* T. Dobzhansky, M. K. Hecht, e W. C. Steere, editores. **Evolutionary Biology**. Plenum press, New York/London.
- CARMO, F. F. do. Novo polo para conservação em geossistema ferruginoso na região do Rio Peixe bravo, norte de Minas Gerais. **Universidade Federal de Minas Gerais**, 2012.
- CHRISTIANSEN, K. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. *Spelunca* 2:75–78, 1962.
- CLARKE, K. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Australian journal of ecology** 18:117–143, 1993.
- CULVER, D. C.; CHRISTMAN, M. C.; ELLIOTT W. R.; HOBS H. H. III; REDDELL, J. R. The North American obligate cave fauna: regional patterns. **Biodiversity and Conservation** 12:441–468, 2003.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P.; YANEGA, D. Ecology of bat guano arthropod communities in a Brazilian dry cave. **Ecotropica** 6:105–116, 2000.
- KRUSKAL, J. B. Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. **Psychometrika** 29:115–129, 1964.
- MAGURRAN, A. E. **Measuring Biological Diversity**. Blackwell Publishing, Malden, USA, 2004.
- NEKOLA, J. C.; WHITE, P. S. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. **Journal of Biogeography** 26:867–878, 1999.
- NOVAK, T.; PERC, M.; LIPOVŠEK, S.; JANŽEKOVIČ F. Duality of terrestrial subterranean fauna. **International Journal of Speleology** 41:181–188, 2012.
- PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; JACOBI C. M. The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave. **International Journal of Speleology** 44:177–189, 2015.
- PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Ecotone delimitation: Epigeian – hypogean transition in cave ecosystems. **Austral Ecology** 29:374–382, 2004.
- SCHNEIDER, K.; CHRISTMAN, M. C.; FAGAN, W. F. The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem- level manipulation experiment. **Ecology**, v. 92, n. 3, p. 765–776, 2011.
- SIMÕES, M. H. Invertebrados Cavernícolas: Subsídios para determinação de cavernas e áreas prioritárias para conservação no Noroeste de Minas Gerais. **Universidade Federal de Lavras**, 2013.
- SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Cave invertebrates in northwestern Minas Gerais state, Brazil: endemism, threats and conservation priorities. **Acta carsologica**, v. 43, n. 1, 2014.
- SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. **Subterranean Biology**, v. 16, p. 103, 2015.
- SKET, Boris. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? **Journal of Natural History**, v. 42, n. 21-22, p. 1549-1563, 2008.
- SOUZA, M. F. V. R. Diversidade de invertebrados subterrâneos da região de Cordisburgo, Minas Gerais: subsídios para definição de cavernas prioritárias para conservação e para o manejo biológico de cavidades turísticas. **Universidade Federal de Lavras**, 2012.

- SOUZA-SILVA, M. Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira. **Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte**, 2008.
- SOUZA-SILVA, M.; NICOLAU, J. C.; FERREIRA, R. L. Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no Vale do Mandembe, Luminárias, MG. **Espeleo-tema**, v. 22, n. 1, p. 155-167, 2011. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_155-167.pdf>.
- SOUZA-SILVA, M.; MARTINS, R. P.; FERREIRA, R. L. Trophic dynamics in a neotropical limestone cave. **Subterranean Biology**, v. 9, p. 127, 2011a.
- SOUZA-SILVA, M.; MARTINS, R. P.; FERREIRA, R. L. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 20, n. 8, p. 1713-1729, 2011b.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. **Subterranean Biology**, v. 7, p. 1-16, 2010.
- ZAMPAULO, R. A. Diversidade de invertebrados cavernícolas na província espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. **Universidade Federal de Lavras**, 2010.